



出会い頭事故未然防止の研究

ー交差点カーブミラー視認性評価と再設計マニュアル開発ー

堀野 定雄*

森 みどり**

久保 登***

北島 創****

Ergonomics study on prevention of crossing collisions at urban intersections -Visibility evaluation and manual development of re-installing traffic convex mirrors-

Sadao HORINO*

Midori MORI**

Noboru KUBO***

Sou KITAJIMA****

1 はじめに

わが国では、以前より交通事故件数の1/4を出会い頭事故が占める状況が続いている。本研究は神奈川県警の依頼で横浜市鶴見区の事故多发交差点でフィールド調査を行い、無信号交差点における出会い頭事故の要因が、一時不停止や安全不確認を生み出す「見えない交差点環境」にあることを見出した⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

無信号交差点の左右の視界は、一般に道路両側の建物などによって遮られている。このため、特に非優先道路から交差点に差し掛かった車両に対して、左右の視界を補助し、安全確認を円滑にするよう、反射鏡（以下カーブミラーと呼ぶ）が設置される場合がある⁽⁴⁾⁽⁵⁾。上記フィールド調査では、このカーブミラーが映し出す鏡像の視認性の適否によって、出会い頭事故の発生に差があることがわかった。

本稿では、無信号交差点でのカーブミラー鏡像による補助視界に着目し、適切な補助視界が得られるようなカーブミラー設置条件を整理・評価し、このような条件を容易に実現できるようなカーブミラー設置・調整方法について検討を行った。また、これらの結果をもとに、カーブミラー設置作業に用いることができるような指針の策定も考慮した。

本稿は、2007・2008年度にわたって研究助成を受けた、工学研究所共同研究の成果概要を報告するものである。研究方法・経過の詳細については、2007年度共同研究中間報告（2008年度

工学研究所報⁽⁶⁾）においても報告しており、あわせてご参照頂ければ幸甚である。

2. 研究目的

全国に224万本以上設置されている（2009-7）カーブミラーは視認性に問題があるものが少なくない。本研究は、これらのカーブミラー設置の適否を容易に総点検できるような手法の開発、および新設・改修工事に際して、現場での設置・調整方法を標準化・簡易化することを目的とした。また同時に、3次元コンピュータグラフィックス(CG)を活用したシミュレーション手法を開発し、カーブミラーの視認性評価方法と適切な補助視界を得るために有効な設置基準を明らかにして、カーブミラー再設計・調整の指針を道路管理者に提案する事も企画した。

3. 研究方法

筆者らが提案する、カーブミラー視認性の人間工学3原則（図1）⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を満たすミラーの設置条件（位置・角度）を迅速かつ正確に測定し調整する方法について、特に実際の交差点で最小限の交通阻害で安全円滑に実施できることを前提条件とし、フィールド研究および3次元CGソフトウェアを用いたシミュレーション研究を併用した実証的な研究開発を試みた。

研究に際しては、必要に応じて、国土交通省道路局、横浜市鶴見・港南土木事務所、(社)全国道路標識標示業協会、警察庁、神奈川県警など、関係行政機関のご協力を得た。

3.1 カーブミラー視認性評価のフィールド実証実験

（財）日本自動車研究所(JARI) 模擬市街路実験施設および同研究所城里屋外実験施設（テストコース）で、ミラーの設置位置・角度（水平角・俯角）と視認距離の関係を測定す

*准教授 情報システム創成学科
Associate Professor, Department of Information Systems Creation

**助手 情報システム創成学科
Research Associate, Department of Information Systems Creation

***客員研究員 工学研究所高安心超安全交通研究所
Guest Researcher, Research Institute for Well-informed and Risk-free Transportation (KU-WIRF)

****特別研究員 工学研究所高安心超安全交通研究所
Research Fellow, Research Institute for Well-informed and Risk-free Transportation (KU-WIRF)

るため、以下の実験を行った(図 2, 図 3)。

(1)カーブミラーによる接近車両の視認距離測定

高齢者 3 名・非高齢者 3 名を被験者とした、乗用車・50cc 原付バイクの視認距離実測に基づき、ミラーの直径・曲率と視界の有効性を検討した。

(2)カーブミラー設置条件(許容範囲)の測定と評価

乗用車/小型トラック運転者視点から、ミラーで視認できる車両の視距離かつ衝突回避可能な安全視距離を満たす条件(設置位置・角度)を測定、整理した。最終的に、直接視界/ミラー間接視界の連続性確保(隅切り・妨害物効果)の視点から、ミラー設置条件を基準化する。

(3)カーブミラー位置決め・調整方法の開発と評価

実路・テストコースなどで視環境の適否を検討するため、可搬型組立式ミラーやミラー位置決め用マーカランプなどを製作し、実用性を確認した後、これらの実験装置・器具を用いた視認性実験を実施した。ミラー設置条件を道路における設置位置・角度(水平角・俯角)条件で表すこととし、設置角度測定法を開発し、精度・効率を実験的に評価した。

3.2 3 次元 CG ソフトウェアを用いたカーブミラー設置シミュレーション

高速画像処理コンピュータを駆使し、3 次元 CG ソフトウェアを用いたシミュレーション手法を実践的に開発した。シミュレーションの再現性を検証後、典型的な交差点環境におけるミラー設置条件をシミュレーションし、ミラー視認性評価、調整手順の標準化・簡易化に資する。

4. 研究成果

4.1 カーブミラー視認性評価のフィールド実証実験

実際の交差点環境を模擬した実験路等において、以下の項目を確認、観察した(JARI つくば模擬市街路: 2007-8, JARI 城里屋外実験場: 2007-12, 2008-3, 神奈川大学体育館: 2008-2)。

4.1.1 カーブミラーの大きさ・曲率と接近車両の視認性

ミラーの大きさ・曲率 (①直径 600mm^φ: 曲率半径 2200mm, ステンレス製、②800mm^φ: 曲率半径 3000mm, ガラス製)と接近車両(①乗用車セダン、②原付バイク)のミラーによる視認距離の関係を測定する実車走行実験を行った。被験者 6 名対象に、交差点右方の交差点境界線より 200m 遠方から 0m 地点まで車両を低速走行させ、交差点左方コーナーに交互に設置した 2 種類のカーブミラーによる見え方(視認距離)を比較測定した(図 2, 図 3)。

視認距離実測値と安全視距離理論値に基づき、ミラー視界(見え方・視認距離)の有効性・妥当性を検討した。対象が乗用車の場合、大型ミラー(800mm^φ)での視認距離は平均

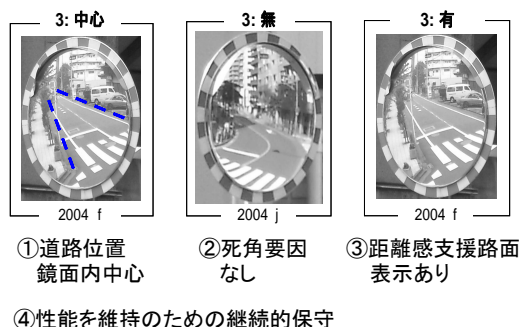


図 1 カーブミラーの人間工学設置基準



図 2 カーブミラー視認性評価実証実験の状況
(JARI 模擬市街路施設)

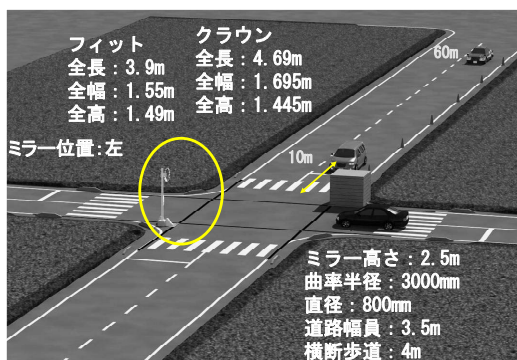


図 3 3 次元 CG シミュレーション結果

[事例 1]カーブミラー視認性実証実験の再現
(JARI 模擬市街路施設)

86m, レンジ (66, 101 m) に対し, 小型ミラー(600mm^φ) は 58m (49, 70 m) と縮小した。原付バイクの場合, 大型ミラーでの視認距離は 50m (40, 56m), 小型ミラーでの視認距離は 39m (30, 55m) であった。ミラーの大きさ・曲率や車両の種類による視認距離など大まかな傾向が確認でき, ミラーを介して接近車両を安全に発見する有効性・妥当性が予備的に検討できた。

ミラーの主要な素材としては, ガラス, ステンレス, メタクリル樹脂, ポリカーボネート樹脂があり, 各々反射率などの特性が異なる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。ミラーの大きさ・曲率や車両の要因に加えて, ミラー材質, 実験条件・手順, 被験者属性など諸要因の効果を実証すること, 実際の交通場面での視認性の推定と安全視距離確保の検討等が今後の課題と確認できた。継続研究として, ミラー視認距離測定実験を実施し検討する予定である。

4.1.2 カーブミラー設置条件(許容範囲)の測定・評価

交差点の左・中央・右の3箇所に設置したカーブミラーで, 安全視距離を確保できる条件として, 右方の遠点(境界線から 60m)と近点(0m)の車を同時に映す角度を乗用

車およびトラックの運転者視点から測定し, ミラー鏡像を写真記録した。その結果, 上記の条件を満たす範囲は, 左では水平角 43-46°, 俯角 4-9°, 中央で水平角 33-36°, 俯角 6-9°, 右で水平角 21°, 俯角 10°程度で, 調整可能な水平角・俯角の許容範囲は狭いことが実証された(図 4)。

4.1.3 カーブミラー設置位置検討・調整方法の開発と評価 価：可搬型・組立式カーブミラー

実路・テストコースなどで視環境の適否を検討するため, 新たに可搬型組立式カーブミラーや位置決め用マーカールンブなどの実験装置・器具を製作した。

(1)組立式カーブミラー(1号機)の試作と実用性評価

普通乗用車で簡易に搬送でき, 実際のカーブミラー(800mm^φおよび 600mm^φ)を設置できる実験用の組立式ミラー(1号機)を, 市販のアルミ製伸縮式脚立と特注のアルミ製支柱を使用して製作した。屋外組立試験・テストコース実験により, 学生4人程度の協同作業で短時間での組立・分解が可能であること, 安定性・強度など実用上の問題がないことを確認した。

(2)水平角調整式カーブミラー (2号機)の試作と機能評価

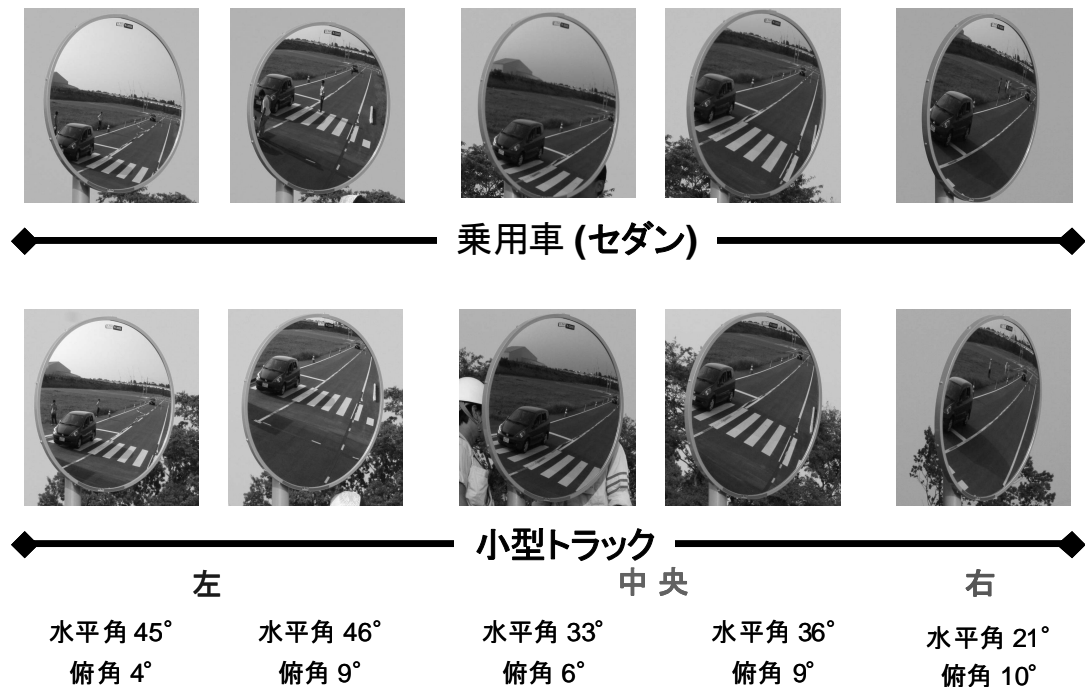


図4 カーブミラーの視認性評価実験：設置条件(位置・角度)の検討
(乗用車とトラック運転者視点の比較)

ミラーの水平角を調整できる実験用カーブミラーとして、アルミ製の筒状ポール 2 本をつなぎ、水平角 1 度刻みの目盛りを付けて + (時計回り)、- (反時計回り) 方向に微調整が出来る構造の 2 号機を設計・製作した。本ミラーの組立をテストコースで行い、構想どおりに容易に組み立て、角度が変化できることを確認した。1 号機・2 号機を利用して、実際のミラーと同様の鏡像をフィールドで容易に得られることを確認、いつ、どこでも簡便にミラー実証実験を実施する手法を整えることができた。

4.1.4 カーブミラー設置位置検討・調整方法の開発と評価 : カーブミラー位置決め用マーカーランプ

工事現場を想定して工事中の交通阻害を最小化し、ミラーが確保すべき見通し距離を検証するため、実際の車両を使用せず、高輝度マーカーランプで道路上の交差車両を代替する手法を開発した。ミラー位置決め・調整時の視界確認方法として、視界限界となる遠・近距離 2 点を特定するため、ミラー反射で視認可能な高輝度光源を市販品から選定あるいは自作し、視認性・実用性を実験的に評価した。

(1)ミラー位置決め用マーカーランプの視認性評価

マーカーランプの候補として、高輝度光源 4 種類各 2 色計 7 種類の、①TV 局照明用 LED ランプ (DC12V LED1.2w[A1 白・A2 黄]), ②100V 用白熱灯 (100W ハロゲンランプ) [B1 白]), ③回転灯 (パトライト) 35w[C1 黄・C2 青], ④反射鏡つき LED ランプ 3LED 直列型 DC12V, 3w[D1 白・D2 緑]を用意し、テストコースの交差道路中央線の高さ 1 m に設置し、被験者 7 名を対象に視認距離を測定、各ランプが直接目視およびカーブミラー鏡像内で確認できる距離を測定した。各ランプを連続光、点滅光の 2 モードで実験した結果、視認距離が最長だった光源は回転灯 (C1 黄色)、反射鏡つき 3LED 直列型 (D1 白・D2 緑) の 3 種類で、境界線から 150m の位置で点滅させても全員が見えた。全ての光源が、最短でも 90m 以上視認可能で実用上問題はなかった。電源確保などの使いやすさ、コスト面を考慮すると、今回自作した反射鏡つき 3LED 直列型が最適であった。

(2)ミラー位置決め用マーカーランプの輝度測定

神奈川大学体育館内で、(1)の実験で視認性の高かった回転灯、反射鏡つき LED ランプ、100V 用白熱灯について、70m の距離から直接およびカーブミラー (600mm^φ、800mm^φ) 鏡像内における輝度を測定した。輝度については、カーブミラー反射により、ガラス製 800mm^φ では平均 22%、レンジ (8%, 73%)、ステンレス製 600mm^φ では平均 15%、レンジ (7%, 51%) に減衰した。これは、

ミラーは反射光全てを反射せず一部吸収するが、その度合いは素材によってばらつくことを示している。また、光源の種類によって減衰程度にばらつきがあり、実際の交差点ミラーに当てはめると、接近車両が発する光の種類で視認距離が左右されることを示唆している。

4.1.5 可搬型カーブミラー・位置決め用マーカーランプを用いたカーブミラー視認性評価実験

(1)カーブミラーの設置角度の簡便で正確な測定法

ミラー設置角度 (水平角・俯角) は、ミラーの光軸 (カーブミラー中心の接平面における法線) を求めることで測定できる。光軸は、光軸上の観測者が鏡面中心に映る、あるいは鏡面中心の像をなす物体とその観測者を結ぶ線分は光軸と交わることを利用して求めることができ、テストコースにおいて確認した。鏡面中心は、ミラー直径方向に張ったゴム紐 2 本の交点で特定し、マーキングした。

(2)カーブミラー設置角度による鏡像範囲の変化

ミラー鏡面に映し出すべき路面領域は、ミラー設置角度 (水平角・俯角) のわずかな変化で大きく変化する。このため、ミラー設置角度を少しずつ変化させ、鏡像に映る領域がどのように変化するかをテストコースで観察した。その結果、適切な鏡像を得られる範囲は、水平角・俯角の双方とも数度以内であることがわかった。

今後は、ミラー設置角度 (水平角・俯角) や光軸角度を簡便かつ高精度に測定する方法の検討が必要である。

4.2 3 次元 CG ソフトウェアを用いたカーブミラー設置シミュレーション

テストコース・実路を対象に、3 次元 CG ソフトウェアを用いたシミュレーション環境・手法を開発した。交差点に設置されたカーブミラー反射像を、実際の道路交通状況に合わせて再現できるシミュレーターを構築し、カーブミラー視認性評価・調整手順の確立を図った。

4.2.1 [事例 1] カーブミラー視認性評価実験状況と実験用カーブミラー視界の再現 : 模擬市街路実験施設

第 1 段階として、JARI 模擬市街路実験施設で実施した、カーブミラー視認性評価実験の実験状況と実験用カーブミラー視界の再現を行った。CG ソフトウェアとして、モデリング・レンダリング等の手法が多様で高速処理が可能、比較的安価で汎用性が高いことから、「Shade 9」を選定した。

開発したシミュレーションツールに実験状況 (道路形状・諸元、車両・ミラー・路面表示・実験設備の位置・距離・寸法等) を入力し、実データの再現性を検証した

結果、これらの条件をほぼ正確に再現でき(図2、図3)、実用性があることが実証できた。

図5は、交差点右に設置し、ミラー視認性3基準を満たすよう右方視界を写した実験用カーブミラー視界(左)とシミュレーションしたカーブミラー視界(右)の一例で、鏡像の形状・大きさや見え方の細部に若干の相違が見られるものの、道路・路面表示・車両等の位置・距離はどの事例でもほぼ一致した。



図5 [事例1] カーブミラー鏡像の再現
左：実際、右：シミュレーション
車の位置、大きさが一致している。

4.2.2 [事例2] カーブミラー設置交差点におけるミラー鏡像シミュレーション：横浜市鶴見区芦穂崎交差点

人間工学研究室では、2004年より、横浜市鶴見区芦穂崎地区の市街地交差点でミラー設置状況および改善提案の実施状況をフィールド調査し、改善効果を検討してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁷⁾。横浜市道路局鶴見土木事務所は、芦穂崎交差点に設置した死角のあるミラーに対して、電柱による死角が道路を遮蔽しないようにミラー取付方法を微調整(支柱からアームを延長)し実質的に死角を解消する改善を実施した(2007-7、図6)⁽⁷⁾。この改善効果を確認するフォローアップ調査を行い、事例2として開発した3次元CGシミュレーションを適用、この交差点の視環境と改善後のミラー設置状況を模擬し、鏡面内実鏡像と視界や死角発生状況の再現性・一致度が高い事を確認した。

以上、3次元CGシミュレーション法を活用し、既設ミラーの点検・補修工事の計画段階で、ローコストで点検・改修効果の詳細に検討することが可能になった。



4.2.3 [事例3] カーブミラー未設置交差点におけるミラー設置シミュレーション：横浜市港南区日野交差点

事例3として、横浜市港南区の住民が危険性を認識しているミラー未設置の十字路無信号交差点で、3次元CGシミュレーションを実施した。すなわち、交差点環境を再現し(図7、図8)、各方向の乗用車運転者視点から、直接視界と視認性が最大となるミラー設置案(交差道路の目視距離最大、死角なし)を検証した。また、可搬型組立式ミラー(800mm^φ)を現場に設置してシミュレーション案を再現し、鏡面内実鏡像との整合性を確認した⁽⁸⁾。

(1)ミラー設置最適解シミュレーションおよびフィールド実験

4方向各々の乗用車EP(運転者視点)からミラー視認性が最大となる最適設置案をシミュレーションした。例えば、③車ミラー視界では、交差点中心からC方向70m、D方向50m程度の視認距離を確保できた。実験用ミラーを用いたフィールド実験でこの案を再現したところ、視認距離・死角発生状況を含め、鏡面内実鏡像との一致度は

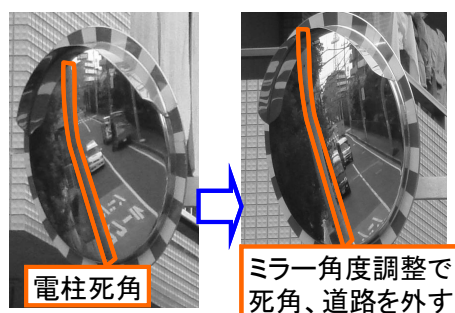


図6 カーブミラー視認性の改善
(横浜市鶴見区芦穂崎交差点、2007-7補修)
死角は残るが、道路を遮蔽していない

高い事を確認できた(図9)。

(2)ミラー角度微調整と鏡像の変化

コーナーAD設置ミラーの水平角を1°調整すると、鏡面内車両②の後方視認距離は約10m変動することが実証できた(図10)。同様の傾向は俯角でもみられ、俯角・水平角の微調整は、適切なミラー視界の確保上重要な要

因であるとわかった。

以上、3次元CGシミュレーション法の活用により、ミラー未設置交差点においてミラー新設後の鏡像の状況を模擬し、設置案の適否を詳細に検討することで、安全視認距離確保、交差車両の早期発見が実現、フィジビリティの高いミラー設置最適解を導くことが可能になる。

4.3 カーブミラー設置、調整用マニュアル開発

カーブミラー設置・改修計画段階で利用できる資料作成の第1段階として、複数の交差点環境でカーブミラー視認性基準を満たす一定の設置位置・角度条件(許容範囲)を整理し基準化を進めた。一方、現場で短時間に調整出来るカーブミラー位置決め、設置角度測定・調整簡便法と標準化手順を開発・検討し、マニュアルの骨子の整備を進めた。

5. まとめ

本研究では、カーブミラー総点検および新設・改修事に利用できるミラー設置・調整の標準的簡便法を提案するために、(1)交差点視環境の定量評価、(2)視環境計測用の可搬型組立式カーブミラー・位置決め用マーカランプなどの開発、(3)これらの実験装置・器具を用いたミラー視認性評価フィールド実験、(4)コンピュータ上でミラー視界を含む視環境を再現する3次元CGソフトウェアを用いたシミュレーターの開発、(5)開発したシミュレーターによる最適な視環境やミラー設置位置の検討、などを実施してきた。

この結果、これまでのカーブミラー設置・調整が現場適用が容易な基礎的方法論が不足し現場作業は感覚と経験に多く依存していること、不良な交差点視環境の原因が種々の視覚的障害物や不適切に設置したミラー等にあること、ミラーにより良好な補助視界を得るための調整範囲(位置・角度)は予想外に狭いこと、鏡像内に映る接近車両の視認距離がミラーの大きさ等によって変化すること、などが明らかになった。

また、現場での設置・調整方法の標準化・簡易化以前に、一定の視界・視認性を確保するカーブミラーの設置条件を検討する基礎的データベース、特に良好な補助視界を得るために有効な交差点ミラーの指針が土木工学分野の産官学いずれにおいても存在しないことも明らかになった。この事実を開発機関に指摘した結果、現在国・県レベルで現状改善の真剣な動きが起きている。

以上、これまでの研究成果として、カーブミラーの視認性評価方法と適切な補助視界を得るために有効な設置基準、カーブミラー再設計・調整の指針を抽出する第1段階として、研究方法論と基礎的知見が整備できた。今後は、これらの成果を活かし、カーブミラー視認性評価実験およびカ

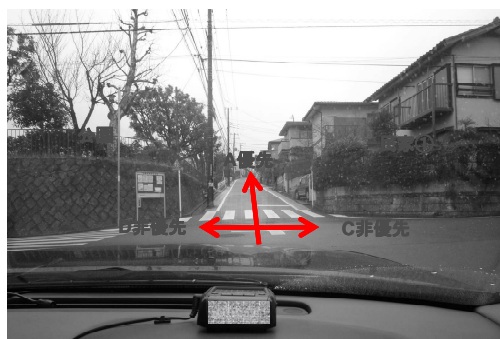


図7 [事例3] カーブミラー未設置交差点におけるミラー設置シミュレーション

横浜市港南区日野交差点の視環境：

③→① 優先側(坂下)の交差点視界

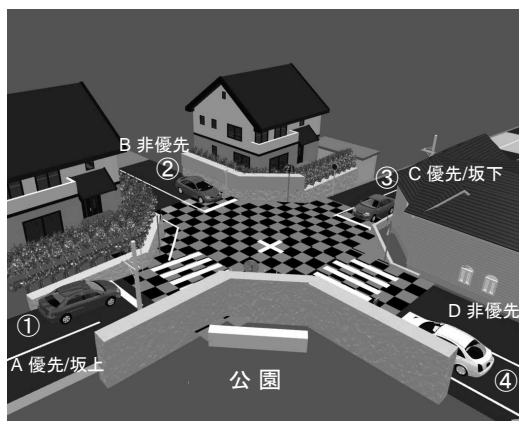


図8 [事例3] カーブミラー未設置交差点におけるミラー設置シミュレーション

横浜市港南区日野交差点の再現

ーブミラー視認性シミュレーションを系統的に展開していく予定である。

カーブミラーによる間接視界の改善は、既設ミラーについては角度の調整、新設ミラーについては適切な設置位置・角度の決定で十分であるため、基本的にローコストで実現できる。今後は、本研究内容を理解し、協力体制を取りつつある国・県レベルの行政組織と働きかけ、カーブミラー視環境改善を全国展開することにより、カーブミラーの間接視界不良による出会い頭事故の低減を図りたい。

謝辞

本研究を進めるに当たり、人間工学研究室所属の卒業研究生であった、猪股裕二、笹山博樹、廣田祐子、杉山

洋紀, 小野雅史, 福永佳洋, 渡邊修平の各氏にフィールド調査, 3 次元 CG シミュレーションなど熱心な協力を得た。さらに, 行政として国土交通省道路局地方道・環境課, 関東地方整備局, 神奈川県警, 横浜市道路局, 同鶴見土木事務所, 同港南土木事務所, 川崎市道路整備課など交通管理・道路管理関係各氏, (社)全国道路標識標示業協会関係各氏, 産業界として道路反射鏡協会関係各氏, 学術研究者として(財)日本自動車研究所安全研究部, 予防安全部, 研究管理部関係各氏, (独) 国土技術政策総合研究所土木工学研究者各氏, 更に地域住民として, 横浜市港南区日野住宅地自治会長以下会員各氏に多大の助言やご協力を得た。心からの謝意を表すものである。

参考文献

- (1) M. Mori, S. Horino, S. Kitajima, M. Ueyama, T. Ebara, T. Itani, “Ergonomics solution for crossing collisions based on a field assessment of the visual environment at urban intersections in Japan”, Applied Ergonomics 39, (2008-8), pp. 697-709.
- (2) M. Mori, S. Horino, Y. Inomata, H. Sasayama, Y. Hirota, “Low-cost and low-technology oriented improvement of visual environment at intersections by ergonomic installation of traffic convex mirrors for preventive safety against crossing collisions”, Proceedings of the 10th Korea-Japan Joint Symposium on Ergonomics, CD-ROM, (2007-5).
- (3) 堀野定雄, 森みどり, 猪股裕二, 笹山博樹, 廣田祐子, “カーブミラー視認性改善と出会い頭事故削減ー横浜市内生活道路広域交差点でのフィールド調査ー」日本人間工学会誌第 43 巻特別号, (2007-6), pp. 62-63.
- (4) (社)日本道路協会, “道路反射鏡設置指針”, 丸善出版, (1980).
- (5) 国土交通省道路局監修, (社)全国道路標識標示業協会編, “道路反射鏡ハンドブック”, (社)全国道路標識標示業協会, (2001).
- (6) 堀野定雄, 森みどり, 久保登, 北島創, 平成 19 年度神奈川大学工学研究所共同研究中間報告 “出会い頭事故未然防止の研究ー交差点カーブミラー視認性評価と再設計マニュアル開発ー”, 神奈川大学工学研究所所報, 第 31 巻, (2008-11), pp.78-84.
- (7) M. Mori, S. Horino, N. Kubo, S. Kitajima, “Ergonomics proposal for visibility requirements at urban intersections in Japan for preventing frequent crossing collisions”, Proceedings of the Applied Human Factors and Ergonomics 2nd International Conference, CD-ROM (2008-7).
- (8) 森みどり, 堀野定雄, 久保登, 福永佳洋, 渡邊修平,

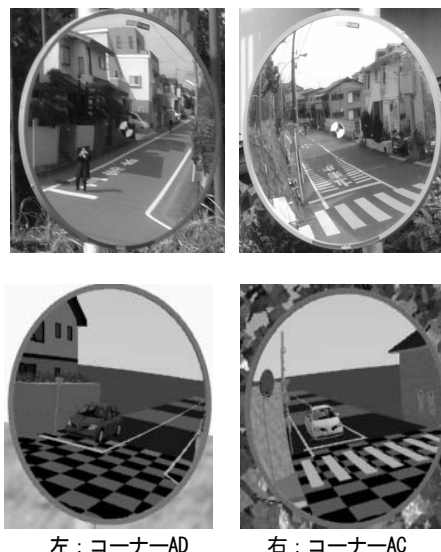


図9 [事例3] カーブミラー未設置交差点におけるミラー設置シミュレーション
横浜市港南区日野交差点:
③車からみたミラー設置最適解
(上: フィールド実験, 下: シミュレーション)

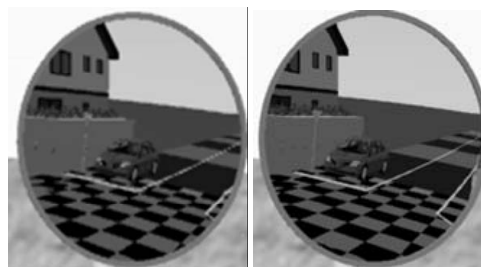


図10 [事例3] カーブミラー未設置交差点におけるミラー設置シミュレーション
横浜市港南区日野交差点:
③車→②方向 ミラー設置案の検討
ミラー水平角と②車後方視認距離の変化
(左: -42° / 約60m, 右: -43° / 70m以上)
設置最適解
[俯角: 7° (左右共通), 白黒マーク各10m]

“市街地無信号交差点における視環境評価と出会い頭事故防止”, 日本人間工学会誌第 45 巻特別号, (2009-6), pp.286-287.